**编者按** 作为科技强国、航天强国的重要标志，发达的空间科学探索是实现高水平科技自立自强的重要抓手。推动空间科学高质量发展，充分发挥空间科学的原始创新驱动作用，对于加快建成创新型国家和世界科技强国具有重要战略意义。中国科学院作为我国战略科技力量的主力军，我国空间科学研究的发源地，在空间科学的发展过程中，始终发挥着引领者、先行者、主力军和国家战略思想库的作用。面对新形势、新任务、新挑战，中国科学院始终心系"国家事"、肩扛"国家责"，坚决把思想和行动统一到党中央决策部署上来，主动担当起发展我国空间科学事业的历史使命，肩负起实现高水平科技自立自强的时代重任。基于此，在中国科学院重大科技任务局指导支持下，《中国科学院院刊》联合中国科学院国家空间科学中心，策划组织"中国空间科学——战略与突破"专题，邀请院内外专家探讨空间科学强国之路，以期为我国率先形成一批航天强国、科技强国先行标志性科学成果，为人类拓展认知新边界、开拓发展新疆域贡献思考。本专题由中国科学院院士、中国科学院国家空间科学中心主任王赤研究员指导推进。

引用格式：吴季, 王赤, 范全林. 中国科学院空间科学战略性先导科技专项实施11年回顾与展望. 中国科学院院刊, 2022, 37(8): 1019-1030.
Wu J, Wang C, Fan Q L. Review on 11 years of implementation of Strategic Priority Program (SPP) on space science and its prospect. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(8): 1019-1030. (in Chinese)



# 中国科学院空间科学战略性先导科技专项实施11年回顾与展望

吴 季[†] 王 赤[†] 范全林[*]

中国科学院国家空间科学中心 北京 100190

**摘要** 中国科学院空间科学战略性先导科技专项（以下简称"空间科学先导专项"）是中国科学院作为国家战略科技力量主力军，以空间飞行器为平台，瞄准世界科学前沿，从2011年开始布局和实施的前瞻性、战略性重大科技项目。迄今，空间科学先导专项已走过了11年的历程，使我国空间科学的发展第一次有了系统性的支持计划，使我国的空间科学家从旁观者、参与者逐渐走近世界空间科学舞台的中央。文章回顾了空间科学先导专项从实施以来的发展历程，包括专项一期在科学前沿领域和在航天技术领域取得的突破，专项二期正在实施的项目情况，以及正在论证中的空间科学未来规划任务的优选项目。习近平总书记2016年在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上明确提出，"必须推动空间科学、空间技术、空间应用全面发展"，将发展空间科学放到了我国航天科技发展的首要位置上。展望未来，我们要继续瞄准空间科学领域的重大科技前沿，通过实现"从0到1的突破"，使空间科学在建设中国特色社会主义科技强国的过程中，发挥不可替代的作用。

**关键词** 空间科学，科学卫星，空间科学先导专项，从0到1突破，科技强国

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20220806001

---

†同等贡献；*通信作者

资助项目：中国科学院学部重点项目，中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA15060102）
修改稿收到日期：2022年8月3日

2022年8月，中国科学院空间科学战略性先导科技专项（以下简称“空间科学先导专项”）部署的我国首颗综合性太阳探测科学卫星先进天基太阳观测台（ASO-S）[1]已完成正样研制，具备发射条件，即将在金秋10月升空，瞄准国际太阳物理领域最具挑战的“一磁两暴”前沿，对第25个太阳活动周遂行科学观测。与太阳活动周11年“同步”，适逢空间科学先导专项实施11年[2]。回顾过去，展望未来，空间科学先导专项的实施为中国空间科学的发展夯实了基础，将为航天强国、世界科技强国的建设再立新功。

空间科学先导专项来之不易，需倍加珍惜。1998年，中国科学院实施知识创新工程试点工作。2003年，中国首个以科学目标牵引立项的“双星计划”实施[3]，但此后的近10年中国再没有发射新的科学卫星。2009年，《中国至2050年空间科技发展路线图》[4]战略研究完成，其中指出空间科技在国家发展中的重要战略作用亟待发挥。2010年3月，国务院第105次常务会议决定2011—2020年中国科学院继续深入实施知识创新工程，着力解决关系国家长远发展的重大科技问题，中国科学院战略性先导科技专项应时顺势而立，形成重大创新突破和集群优势。

在此时代背景下，在科学技术部、财政部、原总装备部、国家国防科技工业局、国家发展和改革委员会、国家自然科学基金委员会等部委，以及全国空间科学界、相关院所高校及工业部门的大力支持下，中国科学院组织了空间科学先导专项的咨询评议和实施方案论证。2011年1月11日，经中国科学院党组会审议并通过，空间科学先导专项首批（以下简称“专项一期”）启动，正式立项实施。

空间科学是以航天器为主要平台①、使命驱动的前沿交叉基础研究，是增进人类前沿科学认知、实现“从0到1突破”的“国之重器”，同时它还具有重要且广泛的溢出效应，可带动先进技术创新、牵引未来产业革命、推动经济社会发展、支撑国家空间安全、引爆科学普及热点。毋庸讳言，相对于空间技术和空间应用，空间科学是我国航天强国建设亟待补齐的“短板”[5]。航天科技是科技进步和创新的重要领域，空间科学先导专项肩负着采撷航天“皇冠上的明珠”的使命，坚持“科学发现只有世界第一”，勇攀世界空间科学最高峰。

空间科学先导专项的总体目标就是通过自主和国际合作科学卫星计划，实现科学上的重大创新突破，带动相关高技术的跨越式发展，从而发挥空间科学在国家发展中的重要战略作用。空间科学先导专项研究内容覆盖了从提出原创科学思想至产出重大科学成果的全过程，可分为预研项目和卫星工程两类。前者包括空间科学战略规划和发展政策、空间科学任务概念、空间科学任务预先研究、空间科学背景型号、空间科学任务规划和数据分析等5种研究课题；后者指空间科学卫星工程任务从方案设计、初样研制、正样研制、发射和运行，直至延寿与退役等5个阶段[6]。

## 1 高起点：空间科学先导专项（一期）取得原创发现（2011—2017年）

### 1.1 专项一期简介

科学卫星工程是空间科学先导专项的重要内容，在经费投入中占绝对份额；发射科学卫星不是目的，而是打造开展世界级科学研究必需的、变革性的物质技术手段。

专项一期在“十二五”期间开展了暗物质粒子探测卫星（“悟空”，2015年12月发射）、实践十号返回式科学实验卫星（2016年4月发射）、量子科学实验卫星（“墨子”号，2016年8月发射）及硬X射线调制望远镜卫星（“慧眼”号，2017年6月发射）

① 指能遂行空间探测、支持科学研究的各类地球轨道卫星、深空探测器（轨道器、着陆器、巡视器和返回器），以及空间站、航天飞机、高空火箭与高空气球等。

4 颗科学卫星工程任务的研制工作，建立起了我国第一个科学卫星系列，是继北斗、风云、海洋等应用卫星系列后的中国航天“全新面孔”（表 1）。专项一期部署的第 5 个卫星工程项目“夸父计划”因为国际合作伙伴退出而暂缓实施。此外，根据空间科学任务价值链的属性，专项一期还前瞻部署了空间科学背景型号、空间科学预先研究项目及专项总体项目。

2017 年 11 月，专项一期完成了全部研究内容，实现了预期的科学目标，圆满收官。科学卫星系列实现了重大科学发现和技术创新突破，获得了一批具有国际影响力的原创成果；预先研究和背景型号研究突破了主要关键技术，孵化培育了一批未来新项目。专项一期初步体现了空间科学在国家创新驱动发展中的战略作用。

### 1.2 取得重要科学发现

专项一期建立的科学卫星系列为我国科学家开展使命驱动的建制化空间科学基础研究提供了前所未有的先进平台。

在空间天文领域，“悟空”号获得了迄今为止世界上最精确的宇宙射线电子[7]、质子[8]和氦核[9]能谱精细结构。2020 年，“慧眼”号在国际上首次直接测量到宇宙最强磁场[10]；2022 年 7 月再次刷新观测记录[11]，首次观测到黑洞双星爆发过程全景[12]，证认了快速射电暴源于磁星[13]。

在空间基础物理实验方面，“墨子”号在国际上率先实现千公里级的星地量子纠缠分发[14]、星地量子密钥分发[15]和星地量子隐形传态实验[16]，完成引力诱导量子纠缠退相干实验，构建了天地一体化广域量子密钥通信网络，使我国第一次在空间科学研究领域走到了世界最前列，牢牢占据了空间量子科学研究领域的主导和引领地位[17]。

2020 年，实践十号返回式科学实验卫星在世界上首次实现微重力条件下细胞胚胎至囊胚的发育[18]；微重力环境下的颗粒流体实验获取了颗粒分聚现象的微观结构和动力学关联，对需要混合或分离的工业过程具有借鉴意义[19]。

上述重要科学发现的成果已在 *Nature*、*Science*、*Physical Review Letters* 等国际著名期刊发表，或成为封面文章，或应约撰写长篇综述论文。据不完全统计，截至 2021 年，专项一期已经发表科学论文超过 1 500 篇，其中国际期刊超过 2/3；发表国际会议报告超过 650 篇；申请发明专利超过 200 项，已有超过 50 项授权；登记软件著作权超过 70 项。

### 1.3 取得技术突破等多重成效

空间科学挑战极限的需求有力推动了尖端空间技术的突破。暗物质卫星首创国内面向“卫星平台载荷一体化”设计，载荷平台比高达 73%，突破了航天以平台为中心的设计惯例，开创了我国航天器研制的新思路[20]。量子卫星突破了星地光路对准关键技术（“针尖对麦芒”），跟踪精度达到 0.5 μrad，量子光指向偏差小于 1.5 μrad，对国家安全和广域量子通信产业的发展具有重大意义[21]。实践十号卫星实现了我国返回式卫星技术的创新发展，突破了大尺度冷板和回收舱高效热控等技术，为节能减排、培育植物新品种、保障粮食安全、提高人类健康水平提供了新的解决方案。“慧眼”号卫星建成了国内首个国际水准的 X 射线标定束线（100 m），提高了脉冲星的观测水平，为未来脉冲星导航奠定重要科学基础[22]。

专项一期 4 颗科学卫星发射升空并成功遂行空间探测和科学实验，填补了我国空间科学空白，产生了巨大的社会影响。近 10 年来，专项一期成果先后 7 次入选两院院士评选的中国科技十大进展新闻和科学技术部中国科学十大进展[23]。2017 年，“墨子”号成为 *Nature* 年度十大科学新闻“空间量子通信”的最重要贡献者。专项一期还发挥了重要的科学普及作用，科学卫星征名引发全社会关注中国空间科学，“悟空寻找宇宙暗物质引大众好奇”入选中国科学技术协会 2015 年“十大科学传播事件”[24]，“墨子”号量

表1　中国科学院空间科学战略性先导科技专项（一期）科学卫星任务一览表

Table 1　List of scientific satellite missions of Strategic Priority Program (SPP I) on Space Science, Chinese Academy of Sciences

| 卫星名称 | 科学目标 | 有效载荷配置 | 卫星轨道 | 发射时间 | 设计寿命 | 当前状态 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 暗物质粒子探测卫星（“悟空”） | 高能电子和伽玛射线寻找及研究暗物质粒子，在暗物质研究这一前沿科学领域取得重大突破；<br>通过观测TeV以上的高能电子及重核，在宇宙射线起源方面取得突破；<br>通过观测高能伽玛射线，在伽玛天文方面取得重要成果 | ① 塑闪阵列探测器<br>② 硅阵列探测器<br>③ 锗酸铋（BGO）量能器<br>④ 中子探测器 | 500 km<br>晨昏太阳同步轨道<br>倾角97.31° | 2015.12.17 | 3年 | 在轨；<br>延寿运行 |
| 实践十号返回式科学实验卫星（实践十号） | 开展空间科学实验，研究、揭示微重力条件和空间辐射条件下的物质运动及生命活动的规律，取得创新科技成果 | 微重力科学实验：<br>① 蒸发对流箱，② 颗粒物质箱，③ 沸腾气泡箱，④ 毛细对流箱，⑤ 胶体材料箱，⑥ Soret实验箱，⑦ 导线特性箱，⑧ 煤粉燃烧箱，⑨ 非金属燃烧箱，⑩ 多功能炉<br>空间生命科学实验：<br>① 生物辐射盒，② 辐射基因盒，③ 家蚕培养箱，④ 植物培养箱，⑤ 物质输运箱，⑥ 高等植物箱，⑦ 干细胞箱，⑧ 胚胎培养箱，⑨ 骨髓培养箱 | 252 km<br>圆轨道<br>倾角43° | 2016.04.06 | 15天 | 退役；<br>返回舱在轨工作12天后成功回收，留轨舱在轨工作19天 |
| 量子科学实验卫星（“墨子”号） | 进行星地高速量子密钥分发实验，并在此基础上进行广域量子密钥网络实验，以期在空间量子通信实用化方面取得重大突破；<br>在空间尺度进行量子纠缠分发和量子隐形传态实验，开展空间尺度量子力学完备性检验的实验研究 | ① 量子密钥通信机<br>② 量子纠缠发射机<br>③ 量子纠缠源<br>④ 量子实验与控制处理机<br>⑤ 高速相干激光通信机 | 500 km<br>太阳同步圆轨道<br>倾角97.37° | 2016.08.16 | 2年 | 在轨；<br>延寿运行 |
| 硬X射线调制望远镜卫星（“慧眼”号） | 通过对银道面、银心和核球的大天区扫描巡天和监测，发现新的高能变源和已知高能天体的新活动；<br>通过对河内黑洞和中子星进行长期高频次监测，理解黑洞和中子星系统的活动和演化机制；<br>通过对高流强河内黑洞和中子星进行高统计量观测，理解吸积黑洞和中子星系统的基本性质；<br>利用其扩展到200 keV—3 MeV能段的探测能力，获得新的伽马射线暴及其他爆发现象的能谱和时变观测数据，理解高能剧烈爆发天体的基本属性，研究宇宙深处大质量恒星的死亡及中子星并合等过程中黑洞的形成 | ① 高能X射线望远镜（HE）<br>② 中能X射线望远镜（ME）<br>③ 低能X射线望远镜（LE）<br>④ 空间环境监测器（SEM） | 550 km<br>圆轨道<br>倾角43° | 2017.06.15 | 4年 | 在轨；<br>延寿运行 |
| 夸父计划 | 着重观测日地空间暴的整体连续变化现象；<br>探索日地空间系统物质和能量的传输与耦合过程；<br>促进日地关系物理学的发展，提高空间灾害预报的水平 | A星完成有效载荷配置论证，<br>B星（2颗）未完成论证 | A星：日地拉格朗日L1点；<br>B1+B2星：地球极轨大椭圆轨道 | / | / | 因国际合作伙伴退出，暂缓实施 |

子科学实验卫星载荷及手稿资料入藏中国国家博物馆②。

习近平总书记在2016、2017、2018年的新年贺词中将“悟空”“墨子”和“慧眼”作为我国科技突破的代表性成果，并在“十九大”报告中将其作为创新型国家建设丰硕成果的典型代表。专项一期开启了中国空间科学发展的新篇章，是我国空间科学发展进入新时代的重要标志，为后续发展奠定了重要基础。

## 2 再发展：空间科学先导专项（二期）持续重要产出（2018年5月—2024年12月）

2016年5月30日，习近平总书记在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上的讲话指出：“空间技术深刻改变了人类对宇宙的认知，为人类社会进步提供了重要动力，同时浩瀚的空天还有许多未知的奥秘有待探索，必须推动空间科学、空间技术、空间应用全面发展。”2016年8月，空间科学卫星系列入选国务院《“十三五”国家科技创新规划》。空间科学的发展被提升到了一个前所未有的高度。为了切实落实习近平总书记的指示要求，以实际行动继续推动中国空间科学发展，中国科学院决定实施空间科学先导专项（二期）（以下简称“专项二期”）。

### 2.1 专项二期简介

专项二期致力于空间天文、日球层物理等领域前沿，将开展时域天文学与引力波电磁对应体、黑洞、太阳磁场与爆发活动之间的关系、引力波与时空本质等方向的科学探测，有望开拓现有科学认知，取得重大发现与突破。

专项二期部署的科学卫星工程包括爱因斯坦探针（EP）、先进天基太阳天文台（ASO-S）、中国科学院-欧洲航天局（ESA）联合太阳风-磁层相互作用全景成像卫星“微笑计划”（SMILE）、引力波暴高能电磁对应体全天监测器卫星“怀柔一号”（GECAM）等4个新的空间科学卫星任务。

除了延续专项一期预研类项目的部署，专项二期还首次设置了重大背景型号，其中增强型X射线时变与偏振空间天文台（eXTP）是以我国为主牵头发起、领衔实施的一项“国际大科学计划”，全球20多个国家和地区的100多个单位参加，备受瞩目；中高轨量子卫星是在专项一期“墨子”号的基础上，继续坚持科学目标牵引、关键技术突破，将与“科技创新2030—重大项目”相衔接。围绕空间引力波探测，设置了“太极计划”重大背景型号，发射了微重力技术实验卫星“太极一号”（Taiji-1）。

### 2.2 专项二期进展

专项二期的科学卫星研制进展顺利（图1），目

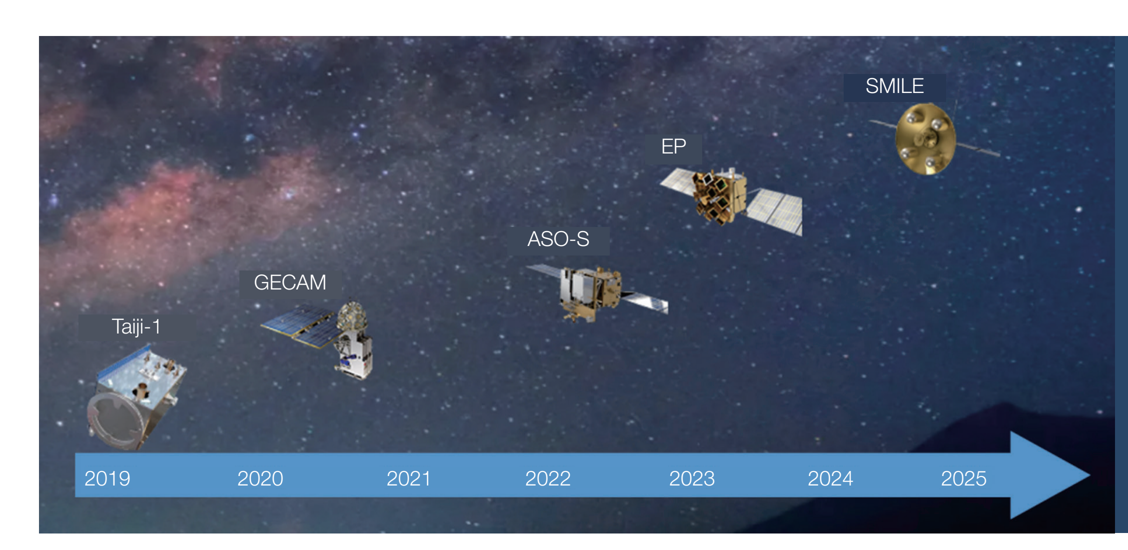



图1 空间科学先导专项二期卫星工程项目
Figure 1 Space science flight missions of SPP II

② 潘建伟“量子”团队“重器”亮相国博“墨子号”量子科学实验卫星载荷及手稿资料入藏仪式昨举行. (2019-05-10)[2022-08-02]. http://www.chnmuseum.cn/zx/gbxw/201905/t20190510_114374_wap.shtml.

前已全部进入工程研制或发射运行阶段。

专项二期首发星 Taiji-1 是我国首颗空间引力波探测技术实验卫星，2019 年 8 月 31 日发射升空，现已完成全部预设实验任务和拓展任务，预计将于 2022 年底前后退役。Taiji-1 实现了我国迄今为止最高精度的空间激光干涉测量，成功进行了我国首次在轨无拖曳控制技术试验，在国际上首次实现了微牛级射频离子和双模霍尔电推进技术的在轨验证，迈出了我国空间引力波探测第一步，为我国在空间引力波探测领域率先取得突破奠定了基础[25,26]。

GECAM 已于 2020 年 12 月发射升空，已探测到来自伽马暴、磁星、X 射线双星、太阳和地球的数百个高能爆发事件，通过北斗导航系统首次实现了准实时下传发布触发警报，成功引导国际空间和地面望远镜进行联合观测。GECAM 发现 1 例来自中子星双星系统（编号为 4U 0614+09）的明亮的 X 射线热核爆发，探测到爆发震荡频率为 413 Hz，支持其来源于该天体系统的自转[27]；发现磁星 SGR J1935+2154 的大量爆发，创新了多卫星联合定位算法，突破了传统定位方法的定位精度[28]；经过地面和在轨标定，GECAM 的相对时间精度达到 0.1 μs，是伽马射线监测器的最高时间分辨率[29]。

ASO-S[1]即将于 2022 年 10 月发射，利用太阳活动第 25 周峰年的契机，研究“一磁两暴”，即太阳磁场、太阳耀斑和日冕物质抛射（CME）的起源、彼此关联和相互作用，揭示其科学机理，也为灾害性空间天气预报提供支持。

预计于 2023 年发射的 EP，将在 X 射线波段对宇宙天体开展高灵敏度实时动态巡天监测[30]，发现宇宙中的 X 射线剧变天体，监测已知天体的活动性，探究相关现象的性质及物理机制；发现和探索宇宙中沉寂黑洞的耀发，测绘黑洞的分布，进一步理解其起源、演化及物质吸积过程；探寻来自引力波源的 X 射线信号，增进对极端致密天体及其合并过程的认知。

SMILE 是继“双星计划”后又一中欧大型空间科学国际合作项目，中欧双方首次在任务的整个生命周期内，共同策划、征集、遴选，并开展方案设计、工程研制及数据分析与科学研究。SMILE 预计于 2025 年发射，利用创新的 X 射线和紫外成像有效载荷，首次对太阳风和磁层之间的相互作用进行全景成像（图 2）。它的科学目标是：探测太阳风-磁层相互作用的大尺度结构和基本模式；认知地球磁层亚暴的整体变化过程和周期变化；探索 CME 事件驱动的磁暴的发生和发展。

随着专项二期的接续实施，我国专用科学卫星数量有望首次突破 10 颗，将占据我国已发射 760 颗航天器的 1.3%（截至 2022 年 4 月③），可谓中国航天“空间科学、空间技术、空间应用”全面发展的重要节点，未来任重道远。

鉴于专项一期的丰硕成果和广泛影响，国内外各界对我国空间科学给予了更大的期望，社会关注度也

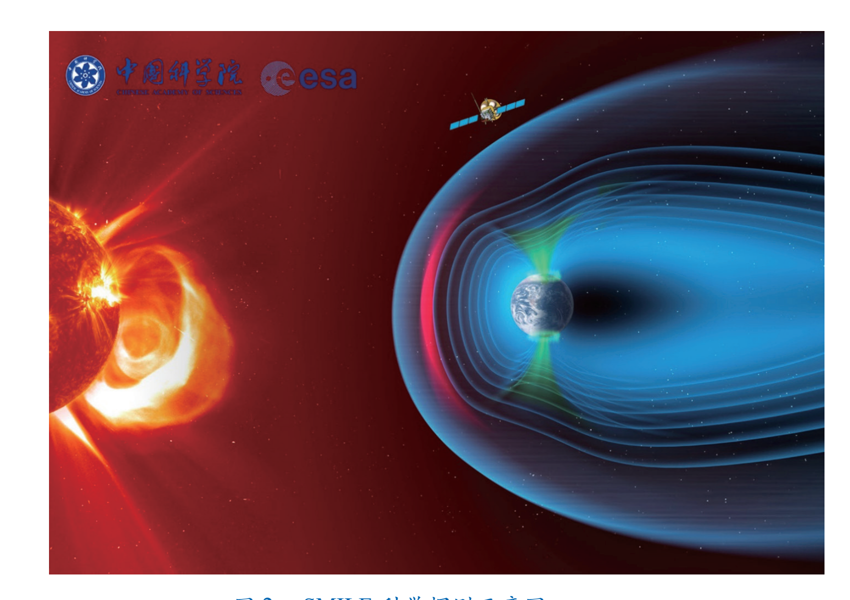



图 2　SMILE 科学探测示意图
Figure 2　Sketch of CAS-ESA joint SMILE mission

③ Chronology of space launches. [2022-08-02]. https://space.skyrocket.de/directories/chronology.html.

更高。专项二期必须聚焦国际空间科学前沿重大问题，瞄准原创性或颠覆性的重大成果，确保工程研制质量和基础研究水平，继续砥砺前行。

## 3 大突破：空间科学后续发展规划孕育重大成果（预计 2025 年 1 月—2030 年 12 月）

专项一期实现了我国空间科学卫星系列“从 0 到 1”的突破，已取得了多项重大原创成果；专项二期正在顺利实施，我国空间科学日益走近世界舞台的中央，迎来了加速发展的最好历史时机。空间科学未来发展亟须顶层规划、提前布局，后续发展规划部署迫在眉睫。

### 3.1 科学卫星工程项目后续发展规划

2021 年 2 月，习近平总书记在会见探月工程嫦娥五号任务参研参试人员代表时提出：“要继续发挥新型举国体制优势，加大自主创新工作力度，统筹谋划，再接再厉，推动中国航天空间科学、空间技术、空间应用创新发展，积极开展国际合作，为增进人类福祉作出新的更大贡献”。

作为我国空间科学发展的主力军，中国科学院责无旁贷，于 2021 年 7 月及时启动了面向“十五五”及以远的空间科学任务“新地平线计划”，征集工作将围绕极端宇宙、时空涟漪、日地全景、宜居行星四大科学主题开展前沿探索和研究，以期实现更多原创科学成果的重大突破，为落实习近平总书记重要指示，加速我国空间科学发展再立新功。

秉持着“科学目标优先、学科均衡发展、技术经济可行”的原则，为遴选产出诺贝尔奖级成果的科学卫星任务，后续发展规划的科学卫星工程项目综合论证前后持续近 1 年的时间，邀请了国家空间科学专家委员会，以及业内各领域的近百位院士和顶级专家参加咨询和评议，全程 3 类 6 轮任务论证工作覆盖了科学意义重大性评审、科学目标国际评估；任务方案论证、工程技术论证；经济可行性论证；以及综合评审等，得到了学界的广泛参与，形成了重要共识。很多优秀的项目开始“浮出水面”，分属空间天文、系外行星、日球层物理、行星科学与空间地球科学等领域[31]。

（1）空间天文。致力于解决“中子星和黑洞的自旋和质量分布如何告诉我们这些天体的形成和演化”“如何揭示宇宙的起源和演化、暗物质和暗能量的本质”等科学问题。此外，为了率先实现人类首次空间引力波探测，中国科学院正在加紧部署太极二号的论证工作，力争探测到致密星系、种子黑洞和超大质量黑洞并合等产生的中低频段（mHz）引力波，探讨时空和引力本质、宇宙起源和统一场论。

（2）系外行星。拟围绕“太阳系周围是否存在系外宜居带行星，地球是否是宇宙中唯一有智慧生命的星球、如何发现地球 2.0”等科学问题开展研究。

（3）日球层物理。将致力于回答“影响行星宜居性的太阳活动水平长周期演化规律和机制是什么”“太阳磁活动周和高速太阳风起源”“太阳爆发引起的空间天气事件”等前沿科学问题。

（4）行星科学与空间地球科学。将解决“行星的起源和演化、生命宜居环境与地外生命信息探索”“全球海表全流场分布、演变的动力学和能量学，如何将海表动力、热力场信息拓展到海洋内部”等重大科学问题。

### 3.2 后续发展规划设想

应该说，空间科学后续发展规划论证过程中浮现出的优秀候选项目都是全国空间科学界智慧的结晶，如果它们有机会工程实施必将为我国科学家实现探索浩瀚宇宙的梦想提供舞台（表 2）。加速我国空间科学发展，应深刻理解空间科学发展进入新时代的历史方位和时代特征，把握新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局，积极推动在国家财政设立空间科学卫星专门渠道，尊重航天研制客观规律，以10年为周期实施空间科学行动计划，厚积薄发，持续不断

表 2　空间科学先导专项卫星工程任务矩阵

Table 2　Flight mission matrix of SPP

| 学科领域 | 空间天文 | | 日球层物理 | 行星科学 | | 空间地球科学 | 空间环境下的科学实验 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 系外行星探测 | 太阳系探测 | | |
| 科学主题 | 极端宇宙 | 时空涟漪 | 日地全景 | / | 宜居行星 | / | 微重力与空间生命、空间基础物理实验 |
| 专项一期 | “悟空”“慧眼”号 | / | / | / | / | / | “墨子”号<br>实践十号 |
| 专项二期 | 爱因斯坦探针<br>怀柔一号 | 太极一号 | 先进天基太阳天文台<br>“微笑计划” | / | /<br>/ | / | / |
| 后续发展规划 | 超长波天文观测阵列[32]<br>增强型X射线时变与偏振空间天文台[33]<br>暗物质2号 | 太极二号 | 太阳极轨探测卫星<br>环日全景探测计划[34]<br>地掩天蚀计划<br>系外物质侵入探测者计划 | 地球2.0-ET巡天<br>近邻宜居行星巡天计划[35] | 金星火山和气候探测任务<br>太阳系1 000万年历史 | 全球海表流场多尺度结构观测卫星[36]<br>全球气候与大气成分监测科学实验卫星[37] | / |

注：限于经费和进度约束，后续发展规划将遴选实施不超过5—7项大/中/小型空间科学卫星任务

Limited to funding and schedule constraints, it will select and implement no more than 5-7 L/M /S space science flight missions in the future.

地产出高质量原创科学成果。

作为“国家队、国家人”，肩负“国家责、国家事”，现阶段，中国科学院将继续高举中国国家空间科学发展大旗，坚持重大科学目标牵引。加快推动空间科学后续发展规划的科学卫星工程项目的立项实施，围绕宇宙黑暗时代和黎明、引力波空间探测、太阳爆发机制立体探测、系内系外宜居行星等重大科学前沿，在专项一期和二期的基础上，瞄准诺贝尔奖级重大科学突破，争取在“十五五”期间通过实施5—7项大中小型空间科学任务，率先取得重大科学发现与突破。同期，部署实施空间科学任务概念研究、预先研究、背景型号、任务规划与数据分析、科学卫星地面支撑等项目。

站在“两个一百年”奋斗目标的历史交汇点上，科学技术从来没有像今天这样深刻影响着国家前途命运，从来没有像今天这样深刻影响着人民生活福祉。空间科学对落实创新驱动发展战略、建设世界科技强国的重要作用日益凸显。空间科学先导专项已走过了11年历程，使我国的空间科学发展第一次有了系统性的支持计划，使我国空间科学开始日益走近世界舞台的中央。我们相信，有党中央、国务院正确决策、坚强领导，中国科学院将“坚持空间科学全国一盘棋”，牵引带动科学卫星平台和先进有效载荷技术的跨越，实现我国空间科学卫星系列的长期可持续发展，为加快建成航天强国作出不可或缺的历史性贡献。

**致谢**　感谢中国科学院重大科技任务局局长丁赤飚院士对本文的指导；感谢中国科学院学部重点项目“建设空间科学强国的主要途径和政策建议”的支持。

## 参考文献

1 Gan W Q, Zhu C, Deng Y Y, et al. Advanced Space-based Solar Observatory (ASO-S): An overview. Research in Astronomy and Astrophysics. 2019, doi: 10.1088/1674-4527/19/11/156.

2 中国科学院空间科学战略性先导科技专项研究团队. 开启中国认识宇宙的新篇章——空间科学战略性先导科技专项及进展. 中国科学院院刊, 2014, 29(6): 754-763.
Team of Strategic Priority Program on Space Science. Strategic

priority program on space science: Turning a new page of Chinese space endeavor. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2014, 29(6): 754-763. (in Chinese)

3 丁兆君, 董荣. 从“星簇计划”到“双星计划”——中欧空间科学合作的发端. 中国科技史杂志, 2019, 40(2): 242-252.

Ding Z J, Dong R. From Star-Cluster Project to Double-Star Project —The origin of the Sino-EU space science cooperation. The Chinese Journal for the History of Science and Technology, 2019, 40(2): 242-252. (in Chinese)

4 中国科学院空间领域战略研究组. 中国至2050年空间科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.

Strategic Research Group in Space Science and Technology, Chinese Academy of Sciences. China’s Space Science and Technology Roadmap through 2050. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese)

5 相里斌. 发展空间科学 建设航天强国. 中国科学报, 2018-07-06(01).

Xiangli B. Developing space science and building a powerful aerospace country. China Science Daily, 2022-07-06(01). (in Chinese)

6 吴季. 空间科学任务及其特点综述. 空间科学学报, 2018, 38(2): 139-146.

Wu J. Characteristics and managements of space science mission. Journal of Space Science, 2018, 38(2): 139-146. (in Chinese)

7 DAMPE Collaboration. Direct detection of a break in the teraelectronvolt cosmic-ray spectrum of electrons and positrons. Nature, 2017, 552: 63-66.

8 DAMPE Collaboration. Measurement of the cosmic ray proton spectrum from 40 GeV to 100 TeV with the DAMPE satellite. Science Advances, 2019, doi: 10.1126/sciadv.aax3793.

9 Alemanno F, An Q, Azzarello P, et al. Measurement of the cosmic ray helium energy spectrum from 70 GeV to 80 TeV with the DAMPE space mission. Physical Review Letters, 2021, 126(20): 201102.

10 Ge M Y, Ji L, Zhang S N, et al. Insight-HXMT firm detection of the highest-energy fundamental cyclotron resonance scattering feature in the spectrum of GRO J1008-57. The Astrophysical Journal Letters, 2020, 899: L19.

11 Kong L D, Zhang S, Zhang S N. Insight-HXMT discovery of the highest-energy CRSF from the first Galactic Ultraluminous X-Ray Pulsar Swift J0243.6+6124. The Astrophysical Journal Letters, 2022, 933: L13.

12 Weng S S, Cai Z Y, Zhang S N, et al. Time-lag between disk and corona radiation leads to hysteresis effect observed in black-hole X-ray binary MAXI J1348-630. The Astrophysical Journal Letters, 2021, 915(1): 15.

13 Li C K, Lin L, Xiong S L, et al. HXMT identification of a non-thermal X-ray burst from SGR J1935+2154 and with FRB 200428. Nature Astronomy, 2021, 5: 378-384.

14 Yin J, Cao Y, Li Y H, et al. Satellite-based entanglement distribution over 1 200 kilometers. Science, 2017, 356: 1140-1144.

15 Liao S K, Cai W Q, Pan J W, et al. Satellite-to-ground quantum key distribution. Nature, 2017, 549: 43-47.

16 Ren J G, Xu P, Pan J W, et al. Ground-to-satellite quantum teleportation. Nature, 2017, 549: 70-73.

17 “墨子号”何以激起空间量子科学热潮. 光明日报, 2022-07-18(08).

Why Mozi aroused the upsurge of space quantum science. Guangming Daily, 2022-07-18(08). (in Chinese)

18 Lei X H, Cao Y J, Ma B H, et al. Development of mouse preimplantation embryos in space. National Science Review, 2020, 7(9): 1437-1446.

19 Li Z F, Zeng Z K, Xing Y, et al. Microscopic structure and dynamics study of granular segregation mechanism by cyclic shear. Science Advances, 2021, 7(8): eabe8737.

20 Chang J, Ambrosi G, An Q S, et al. The Dark Matter Particle Explorer mission. Astroparticle Physics, 2017, 95: 6-24.

21 陈少杰. 高精度空间量子通信跟瞄技术的误差机理研究. 北京: 中国科学院大学, 2018.

Chen S J. Study on error mechanism of high precision space quantum communication tracking and pointing technology. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018. (in Chinese)

22 慧眼卫星成功进行X射线脉冲星导航在轨实验. 科技日报, 2019-08-26(01).

Successful on orbit experiment of X-ray pulsar navigation by comet satellite. Science and Technology Daily, 2019-08-26(01). (in Chinese)

23 王赤. 空间科学突破的前瞻和中国的贡献. 中国科学院院刊, 2022, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20220513001.
Wang C. Prospects of global space science breakthroughs and China's contributions. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20220513001. (in Chinese)

24 中国科协科学技术普及部. 定格精彩记忆 传播科学精神——典赞·2015年中国科学传播. 科技导报, 2016, 34(12): 107-118.
Science and Technology Popularization Department of China Association for Science and Technology. Freeze the wonderful memory to spread the scientific spirit—Dianzan 2015 China Science Communication. Science & Technology Review, 2016, 34(12): 107-118. (in Chinese)

25 The Taiji Scientific Collaboration. Taiji program in space for gravitational universe with the first run key technologies test in Taiji-1. International Journal of Modern Physics A, 2021, 36(11/12): 2102002.

26 The Taiji Scientific Collaboration. China's first step towards probing the expanding universe and the nature of gravity using a space borne gravitational wave antenna. Communications Physics, 2021, 4: 34.

27 Chen Y P, Li J, Xiong S L, et al. GECAM detection of a bright type-I X-ray burst from 4U 0614+09: Conformation its spin frequency at 413 Hz. Astrophysics-High Energy Astrophysical Phenomena, 2021, doi: 10.48550/arXiv.2112.04790.

28 Xiao S, Xiong S L, Cai C, et al. Energetic transients joint analysis system for multi-INstrument (ETJASMIN) for GECAM—I. Positional, temporal, and spectral analyses. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, 514(2): 2397-2406.

29 Xiao S, Liu Y Q, Peng W X, et al. On-ground and on-orbit time calibrations of GECAM. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, 511(1): 964-971.

30 袁为民, 张臣, 陈勇, 等. 爱因斯坦探针: 探索变幻多姿的X射线宇宙. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2018, 48: 039502.
Yuan W M, Zhang C, Chen Y, et al. Einstein Probe: Exploring the ever-changing X-ray Universe. Sci Sin-Phys Mech Astron, 2018, 48: 039502. (in Chinese)

31 Wang C, Song T T, et al. China's space science program (2025—2030): Strategic priority program on space science (III). Chinese Journal of Space Science, 2022, doi: 10.11728/cjss2022.04.yg01.

32 Chen X L, Yan J Y, Deng L, et al. Discovering the sky at the longest wavelengths with a lunar orbit array. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2021, 379(2188): 20190566.

33 Zhang S N, Santangelo A, Feroci M, et al. The enhanced X-ray timing and polarimetry missioneXTP. Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2019, 62(2): 29502.

34 Wang Y M, Ji H S, Wang Y M, et al. Concept of the solar ring mission: An overview. Science China Technological Sciences, 2020, 63(9): 1699-1713.

35 Ji J H, Wang S. China's future missions for deep space exploration and exoplanet space survey by 2030. Chinese Journal of Space Science, 2020, 40(5): 729-731.

36 Du Y, Dong X L, Jiang X W, et al. Ocean surface current multiscale observation mission (OSCOM): Simultaneous measurement of ocean surface current, vector wind, and temperature. Progress in Oceanography, 2021, 193: 102531.

37 Liu C L, Kirchengast G, Sun Y Q, et al. Exploring greenhouse gases water and climate changes: Scientific opportunities for the climate and atmospheric composition exploring satellites mission. Chinese Journal of Space Science, 2020, 40(2): 151-168.

# Review on 11 Years of Implementation of Strategic Priority Program (SPP) on Space Science and Its Prospect

WU Ji[†] WANG Chi[†] FAN Quanlin[*]

( National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China )

**Abstract** The Strategic Priority Program (SPP) on space science is a series scientific satellites program implemented by Chinese Academy of Science (CAS) since 2011. Since then, it has become the only and systematic space science satellite series of China. The article reviews the major scientific outcomes and technological breakthroughs in its first phase (2011-2016), the ongoing mission developments of its second phase (2017-2024), and the selected mission proposals for future space science program up to 2030. In 2016, President Xi has addressed: "to promote full developments of space science, space technology and space application," where he put space science in the first place of all other space programs. Looking ahead, we must continue to aim at the most important scientific frontiers in the field of space science, achieving from 0 to 1 breakthroughs, making space science play an irreplaceable role in building China into one of the strongest scientific and technological country in the world.

**Keywords** space science, scientific satellite, Strategic Priority Program (SPP) on space science, breakthroughs from zero to one, S&T power nation





**吴 季** 中国科学院国家空间科学中心学术委员会主任、研究员，中国空间科学学会理事长，俄罗斯科学院外籍院士，国际宇航科学院院士，电气和电子工程师协会（IEEE）会士，卢森堡空间资源利用咨询委员会委员。曾任中国科学院国家空间科学中心主任，中国科学院空间科学战略性先导科技专项Ⅰ期负责人，嫦娥一号和三号探测器有效载荷总指挥等。获国家科技进步奖一等奖、中国航天基金会特别奖、国际宇航科学院团队成就奖、2022年COSPAR国际合作奖等。

E-mail: wuji@nssc.ac.cn

**WU Ji** Professor and Chair of the Academic Committee at National Space Science Center (NSSC), Chinese Academy of Sciences (CAS), President of Chinese Society of Space Research, Foreign Member of Russian Academy of Sciences, Full Member of International Academy of Astronautics, Fellow of Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Member of the Advisory Board for Space Resources of Luxembourg. He was project manager of Strategic Priority Program on Space Science (Phase I) of CAS, Science Payload Managers of Chang'e 1 and Chang'e 3. He has received several national and international awards. In 2022, he was awarded the International Cooperation Award by Committee on Space Research (COSPAR) and Asteroid 10118 is named after him. E-mail: wuji@nssc.ac.cn



**王 赤** 中国科学院院士。中国科学院国家空间科学中心主任、研究员、博士生导师。中国科学院"空间科学（二期）"战略性先导科技专项负责人，"太阳风-磁层相互作用全景成像"（SMILE）卫星计划中方首席科学家，子午工程二期总指挥，探月工程嫦娥四号任务工程副总设计师，嫦娥四号、嫦娥五号和天问一号有效载荷分系统负责人。曾任子午工程总设计师、暗物质粒子探测卫星工程副总指挥等。主要从事空间物理和空间天气研究，在国内外重要学术期刊上发表论文300余篇。E-mail: cw@nssc.ac.cn

**WANG Chi** Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), and Director General of National Space Science Center, CAS. He is in charge of the Strategic Priority Research Program on Space Science (Phase II) and is Co-PI of the Solar wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer (SMILE) mission. He is also the Chief

† Contributed equally to this work; * Corresponding author

Commander of the Chinese Meridian Project (Phase II), the Deputy Chief Engineer of Chang’e 4 mission of Chinese Lunar Exploration Program, and is in charge of the payloads system of Chang’e 4 mission, Chang’e 5 mission, and Tianwen-1 Mars mission. Previously, he has served as the Chief Architect of Chinese Meridian Project (Phase I) and Deputy Chief Commander of Dark Matter Particle Explorer (DAMPE) mission. His main research interest includes space physics and space weather study. He has published more than 300 peer reviewed papers and articles in academic journals home and abroad. E-mail: cw@nssc.ac.cn



范全林　中国科学院国家空间科学中心正高级工程师，空间科学与深空探测规划论证中心副主任。长期从事空间科学政策与发展规划研究，负责中国科学院空间科学战略性先导科技专项总体管理。E-mail: fan@nssc.ac.cn

**FAN Quanlin**　Ph.D. and Professor at National Space Science Center (NSSC), Chinese Academy of Sciences (CAS). He is also the Deputy Director of Space Science and Deep Space Exploration Study Center, NSSC, CAS. His main research interest covers the national space science policy and strategic planning. He takes the responsibility for general administration of Strategic Priority Program on Space Science of CAS.
E-mail: fan@nssc.ac.cn

■责任编辑：文彦杰